Труды Зоологического института РАН
Том 320, № 3, 2016, с. 316–325

УДК 574.586

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭПИФИТОНА ПСКОВСКО-ЧУДСКОГО ОЗЕРА В РАЙОНАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

М.В. Колченко

Псковское отделение ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства», ул. Горького 13, 180007, Псков, Россия, e-mail: marleon.psk@gmail.com

РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты исследований структурных характеристик эпифитона на российской части Псковско-Чудского озера (13 станций) в июле 2013 г., позволяющие выявить их особенности в районах с различной степенью антропогенного воздействия. В целом, уровень загрязнения Псковско-Чудского озера в значительной мере определяется процессами, происходящими на его водосборе, и, в первую очередь, загрязнением рек его бассейна. Основные источники загрязнения (недоочищенные сточные воды) расположены в устьях рек Великой и Гдовки. В составе эпифитона было идентифицировано 279 таксонов водорослей рангом ниже рода. Его основу составляли три отдела: Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanoprokaryota. Количество таксонов на исследованных станциях изменялось от 46 до 111. Структуру биомассы на всех станциях определяли Bacillariophyta и Chlorophyta. Величины общей биомассы обрастаний колебались в широких пределах: от 0.5 до 6.8 г/м^2 субстрата. Значения индекса видового разнообразия Шеннона на большинстве станций были высоки и свидетельствовали о значительном разнообразии сообществ эпифитона, но резко снижались в местах максимального загрязнения. Значения индекса сапробности по станциям изменялись в пределах β-мезосапробной зоны, что соответствует III классу качества вод (умеренно загрязненная). На станциях, подверженных максимальному антропогенному воздействию его значение соответствовало α-мезосапробной зоне самоочищения, IV классу качества вод (загрязненная). При сравнительном анализе структурных характеристик сообществ эпифитона на «загрязненных» и «условно чистых» станциях было установлено, что таксономическое разнообразие при увеличении степени антропогенного влияния может как увеличиваться, так и снижаться. При этом численность и биомасса эпифитона на «загрязненных» станциях была значительно выше за счет развития нитчатых зеленых и цианопрокариотических водорослей. Среди доминирующих видов здесь отмечены виды-индикаторы повышенного загрязнения, что приводило к увеличению значений индекса сапробности, которые определяли наличие α-мезосапробных условий.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, Псковско-Чудское озеро, эпифитон

EPIPHYTON STRUCTURE PECULARITIES IN THE REGIONS OF LAKE PSKOVSKO-CHUDSKOE WITH VARIOUS DEGREE OF ANTHROPOGENIC POLLUTION

M.V. Kolchenko

Pskov Department of the Institute of Lake and River Fishery, Gorkogo str. 13, 180007, Pskov, Russia, e-mail: marleon.psk@gmail.com

ABSTRACT

The paper presents the results of studies on the structural characteristics of epiphyton communities in Lake Pskovsko-Chudskoe (Lake Peipsi), carried out in July 2013 on 13 stations (Russian part). The purpose of the study was to identify changes in the epiphyton community caused by various degrees of anthropogenic pollution in different areas of the lake. In general, the level of pollution of Lake Pskovsko-Chudskoe is largely determined

by the processes occurring in its catchment area and, above all, pollution of its basin. The main sources of pollution (insufficiently treated waste water) are located at the mouths of the Velikaya River and the Gdovka River. In total 279 taxa of algae with rank below genus were identified within epiphyton. The basis of systematic list was made up of three divisions: Bacillariophyta, Chlorophyta and Cyanoprokaryota. Number of taxa in the studied stations varied from 46 to 111. The structure of the biomass at all stations was presented by Bacillariophyta and Chlorophyta. Values of attached algae total biomass ranged widely: from 0.5 to 6.8 g/m^2. The Shannon diversity index values at most stations were high indicating considerable diversity of epiphyton communities. Index declined sharply in areas with highest level of pollution. Values of saprobic index were within β-mesosaprobic zone range, which corresponds to class III water quality (moderately polluted). At the stations with highest anthropogenic pollution the saprobic index value corresponded to α-mesosaprobic area of self-purification, class IV water quality (polluted). Comparative analysis of structural characteristics of epiphyton communities at "polluted" and "relatively clean" stations has shown that taxonomic diversity may both increase and decrease with the raise of anthropogenic pollution level. The abundance and biomass of epiphyton at "polluted" stations were significantly higher due to development of filamentous green algae and cyanoprokaryotes. Among the dominant species observed were species-indicators of high pollution. Their presence leads to an increase in saprobic index values that indicate the occurrence of α-mesosaprobic conditions.

Key words: anthropogenic pollution, Lake Pskovsko-Chudskoe, Lake Peipsi, epiphyton

ВВЕДЕНИЕ

Псковско-Чудское озеро – крупный трансграничный водоем, расположенный на границе между Россией и Эстонией, относится к бассейну Финского залива Балтийского моря (Рис 1.). Общая площадь озера составляет 3555 км^2, из них 56% (1985 км^2) относится к России. Водоем делится на три основные части: Чудское, Тёплое и Псковское озера. Озеро характеризуется относительной мелководностью (средняя глубина – 7.1 м, максимальная – 15.3 м) и достаточно интенсивным водообменом. Коэффициент условного водообмена озера – 0.47, т.е. в среднем весь объем воды замещается водами рек, впадающих в озеро, в течение немногим более двух лет. Уровень воды в озере подвержен значительным сезонным и межгодовым колебаниям (Псковско-Чудское... [Timm et al.] 2012).

Псковско-Чудское озеро является нестратифицированным водоемом. По химическому составу вода озера относится к группе кальциево гидрокарбонатного класса средней минерализации. Трофический статус основных частей водоема различен: Чудское озеро – умеренно эвтрофное, Псковское – гиперэвтрофное. Средние значения концентраций биогенных элементов ($P_{общ}$ и $N_{общ}$) в Чудском озере составляют 40 мгР/м^3 и 663 мг/м^3. В Псковском озере при относительном постоянстве содержания $N_{общ}$ (~900–1000 мг/м^3) выявлено двукратное увеличение концентраций $P_{общ}$ с 62 мг/м^3 в 1985–1996 гг. до 150 мг/м^3 в 1997–2006 гг. (Псковско-Чудское ...[Timm et al.] 2012).

Уровень загрязнения Псковско-Чудского озера в значительной мере определяется процессами, происходящими на его водосборе, и, в первую очередь, уровнем загрязнения рек его бассейна. Внешняя нагрузка $P_{общ}$ на Псковско-Чудское озеро составляет около 830–900 т/год (Кондратьев и др. [Kondratiev et al.] 2010). Основные источники загрязнения (главным образом это–недоочищенные сточные воды) на российском берегу озера расположены в устье р. Великой и в районе впадения в Чудское озеро р. Гдовки. Высокие концентрации биогенных элементов в первую очередь сказываются на первичных продуцентах, основным из которых в озере является фитопланктон, характеризующийся доминированием диатомовых и цианопрокариот. Его биомасса в Псковском озере по многолетним данным в среднем составляет 19.2, в Чудском – 12.9 г/м^3, интенсивность фотосинтеза – соответственно 2.3 и 1.1 мгO_2/л сут (Ястремский [Yastremsky] 2011). В последние десятилетия отмечается увеличение роли цианопрокариот в озере, а нарушение баланса азота и фосфора в пользу последних может способствовать еще большему их доминированию при «цветении» воды. Высшая водная растительность занимает 5–8% акватории Псковско-Чудского водоема. Наибольшую роль в зарастании озера играет тростник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) – основной эдификатор

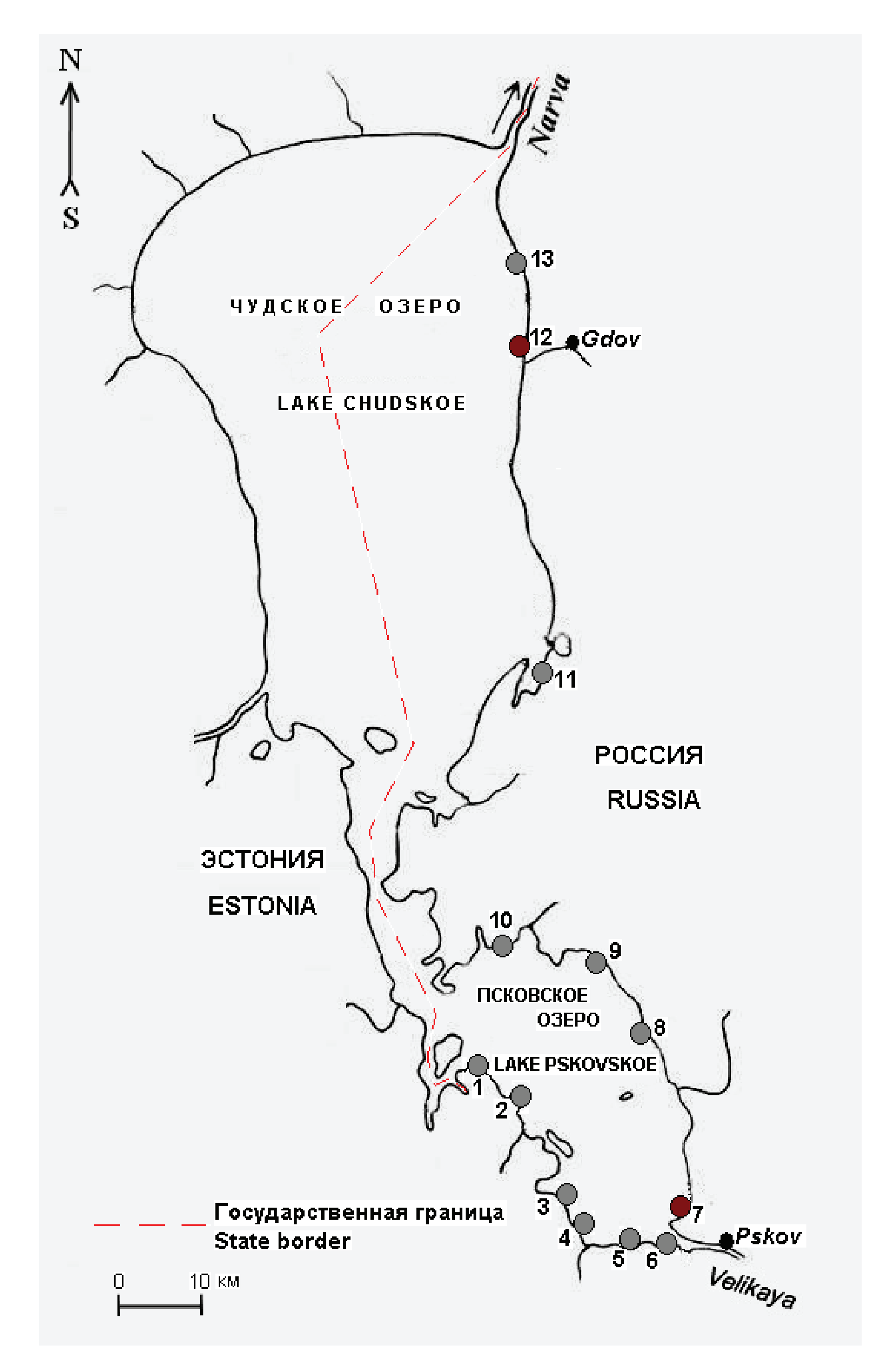


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб эпифитона на Псковско-Чудском озере (1 – Дрисливик, 2 – Лисьё, 3 – Зимний Борок, 4 – Молочково, 5 – Видовичи, 6 – Б. Листовка, 7 – Молгово, 8 – Мешоколь, 9 – Баглицы, 10 – Балсово, 11 – Сосно, 12 – Гдов, 13 – Лаптовицы).

Fig. 1. Schematic map of epiphyton sampling stations location on Lake Pskovsko-Chudskoe (1 – Drislivik, 2 – Lisyo, 3 – Zimniy Borok, 4 – Molochkovo, 5 – Vidovichi, 6 – B. Listovka, 7 – Molgovo, 8 – Meshokol, 9 – Baglitci, 10 – Balsovo, 11 – Sosno, 12 – Gdov, 13 – Laptovitci).

водной растительности водоема. В настоящее время его заросли распространены в Псковском, Тёплом и южной части Чудского озера вдоль всей береговой линии, а также они окружают многочисленные острова (Михайлова и Судницына [Mikhailova and Sudnitsyna] 2013).

Наряду с другими автотрофами, эпифитон играет важную роль в экосистеме водоема, активно участвуя в формировании потоков вещества и энергии и процессах самоочищения водоемов. Благодаря своей приуроченности к субстрату и короткому жизненному циклу, анализ его структуры позволяет судить о среднем загрязнении за определенный промежуток времени, предшествующий исследованию, и в то же время выявлять локальные загрязнения (Комулайнен [Komulaynen] 2004). Это делает эпифитон ключевым объектом для оценки экологического состояния антропогенно измененных водоемов и водотоков. Основные подходы в биоиндикации качества вод – выявление индикаторных видов и анализ структурно-функциональных показателей сообществ (Collins and Weber 1978; Щербак и Семенюк [Shcherbak and Semenyuk] 2011; Станиславская [Stanislavskaya] 2011). Ранее сообщества обрастаний в Псковско-Чудском озере исследовались спорадически и касались в основном таксономического состава (Лаугасте [Laugaste] 1966; Laugaste and Pork 1996; Laugaste and Lessok 2004; Судницына [Sudnitsyna] 2008; Леонова [Leonova] 2012; Колченко [Kolchenko] 2013).

Цель исследования – определение основных структурных характеристик эпифитона на российской части акватории озера и выявление их возможных изменений в местах максимального антропогенного загрязнения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Летом 2013 г. на 13 станциях российской части Псковско-Чудского озера (Рис. 1) были отобраны пробы эпифитона с тростника южного. Для выявления возможного влияния антропогенного загрязнения на изменение структуры эпифитона сравнивали его структуру на станциях, расположенных в районе влияния рек Великой и Гдовки (ст. 7 и ст. 12) – «загрязненные», с «условно чистыми» станциями 8 и 13.

На каждой станции 3–5 стеблей растений длиной 10–30 см срезали под водой и помещали в емкость объемом 1 л с водопроводной водой. Водоросли отделяли от субстрата, используя жесткую зубную щетку. Полученную суспензию перемешивали в течение 2 мин и разливали по склянкам объемом 100 мл. Качественные и количественные пробы фиксировали 40% формалином до появления слабого запаха. Подсчет и определение водорослей проводили в камере Нажотта (объемом 0.02 см^3) с использованием микроскопов ЛОМО Биолам С13 и ZEISS AxioLab A1 при 120- и 700-кратном увеличении. Биомассу всех встречаемых видов водорослей рассчитывали счетно-объемным методом (Hillebrand et al. 1999). Площадь поверхности стеблей тростника приравнивали к поверхности цилиндра. Определение водорослей проводилось с использованием отечественных: Голлербах [Gollerbah](1951–1982) и зарубежных: Krammer and Lange-Bertalot (1986–1991), Царенко [Tsarenko](1990), Komarek and Anagnostidis, (1999) определителей. Данные по экологии и распространению водорослей взяты из вышеприведенных определителей и работ Давыдовой [Davydova] (1985), Фитопланктон ... [Trifonova] (2003), Бариновой и др. [Barinova et al.] (2006), Стениной [Stenina] (2009) и др.

Коэффициент флористического сходства альгоценозов оценивали по Съёренсену, индекс видового разнообразия Шеннона рассчитывали по численности (Шитиков и др. [Shitikov] 2005). Для оценки сапробности воды использовали метод индикаторных организмов Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sláděček 1973). Планктонные виды, обнаруженные в количественных пробах, считали осевшими на субстрат и учитывали при подсчете биомассы и индекса сапробности. В доминантный комплекс водорослей включены виды с биомассой более 10% от общей. Коэффициент корреляции Спирмена был рассчитан с помощью программы Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего в эпифитоне озера идентифицированы 279 таксонов водорослей рангом ниже рода из 8 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanoprokaryota, Xanthophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Rhodophyta, Dinophyta.

Основу эпифитона составляют 3 отдела (Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanoprokaryota), на долю которых приходится 95% общего числа

таксонов. Такое соотношение отделов характерно для перифитона водоемов и водотоков умеренной зоны (Станиславская [Stanislavskaya] 2008, 2013; Метелёва [Meteliova] 2008; Макаревич и др. [Makarevich T.A. et al.] 2013; Рычкова [Rychkova] 2013; Беляева [Belyaeva] 2014 и др.).

Наиболее разнообразны водоросли из отдела Bacillariophyta (42% от общего списка), которые представлены 118 таксонами рангом ниже рода, относящимися к 30 родам и 17 семействам. Среди семейств наиболее богаты видами Naviculaceae (23), Fragilariaceae (16), Cymbellaceae (15) и Gomphonemataceae (13), а среди родов – *Gomphonema* (13), *Navicula* (12), *Fragilaria* (10), *Aulacoseira* (9), *Cymbella* (8) и *Nitzschia* (7). Присутствие и высокая видовая насыщенность этих родов, толерантных к различного рода загрязнениям, характерны для водоемов и водотоков, испытывающих значительное антропогенное влияние (Комулайнен [Komulaynen] 2004; Станиславская [Stanislavskaya] 2011). Основной фон обрастаний составили *Cocconeis placentula* Ehrenberg, 1838, *Fragilaria capucina* Desmazières, 1830, *Fragilaria crotonensis* Kitton, 1869, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg, 1836, *Navicula cryptocephala* Kützing, 1844, *Navicula radiosa* Kützing, 1844., *Navicula tripunctata* (O.F. Müller) Bory, 1822, *Achnanthes minutissima* Kützing, 1833.

Второе место по числу таксонов занимают Chlorophyta (37%), которые включают 102 таксона рангом ниже рода из 9 порядков, 22 семейств и 39 родов. Значительного разнообразия достигают порядки Chlorococcales (49) и Zygnematales (37). По числу таксонов доминируют семейства Scenedesmaceae (18) и Desmidiaceae (29). Наибольшей видовой насыщенностью характеризуются такие роды, как *Cosmarium* (22), *Scenedesmus* (13), *Pediastrum* (5), *Closterium* (5), *Staurastrum* (5). Максимальная встречаемость отмечена для *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson, 1835 и *Pediastrum tetras* (Ehrenberg) Ralfs, 1845, *Cosmarium punctulatum* Brébisson, 1856, *Cosmarium granatum* var. *subgranatum* f. *crassum* Roll, 1925.

Cyanoprokaryota составляют 16% общего списка определенных таксонов. Они представлены 44 видами из 26 родов, 12 семейств и 3 порядков. Наиболее богатыми видами оказались семейства Merismopediaceae (9) из Chroococcales. Однако наиболее высокое обилие отмечено для *Heteroleibleinia kuetzingii* (Schmidle) Compère 1985 и *Planctolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová et Cronberg, 1992, которые характерны для эвтрофных и загрязненных вод (Щербак и Семенюк [Shcherbak and Semenyuk] 2011).

Другие отделы немногочисленны и суммарно составляют 5% от общего числа таксонов. Их представители встречены, как правило, единично, за исключением *Tribonema subtilissimum* Pascher из Xanthophyta и *Phacus curvicauda* Svirenko, 1915 из Euglenophyta, которые на некоторых станциях играли значительную роль в комплексах обрастаний.

На большинстве станций так же, как и в целом для озера, по числу таксонов преобладали диатомовые водоросли (Рис. 2). Только на двух станциях, расположенных около восточного и северного побережий Псковского озера, по числу видов доминируют зеленые водоросли. Доля диатомовых водорослей в таксономической структуре на разных станциях изменялась от 36 до 72% (от общего числа таксонов), зеленых – от 22 до 42%, цианопрокариот – от 5 до 19%.

Количество таксонов по станциям варьировало и изменялось от 46 до 111 (Рис. 2). Максимальное их количество было отмечено на станциях 6, 9 и 10, расположенных в северной части Псковского озера и в дельте р. Великой. Высокое таксономическое разнообразие на ст. 6, скорее всего, связано с активным дрифтом водорослей из р. Великой, что значительно обогащает альгофлору озера (Силеенкова [Sileenkova] 2013). На двух станциях в юго-западной части Псковского озера (ст. 3 и ст. 4) количество таксонов было минимальным. Кроме того, следует отметить, что значительное варьирование числа таксонов на исследованных станциях, возможно, связано со сгонно-нагонными явлениями, которые характерны для озера.

На большинстве станций индекс видового разнообразия Шеннона колебался в пределах 2.19–5, что говорит о высоком разнообразии сообществ эпифитона (Табл. 1). Только на станции 12, расположенной вблизи устья р. Гдовки он снижался до 0.64, что свидетельствует об упрощении структуры эпифитона.

Структуру биомассы на всех станциях определяли диатомовые и зеленые водоросли. В Чудском озере в западной части Псковского озера и в устье р. Великой от 50 до 97% от общей биомассы составляли диатомовые водоросли (Рис. 3). Среди доминантов или субдоминан-

Таблица 1. Основные структурные характеристики эпифитона «загрязненных» и «условно чистых» станций Псковско-Чудского озера

Table 1. Main structural characteristics of epiphyton in “polluted” and “relatively clean” stations of Lake Pskovsko-Chudskoe.

Структурные характеристики Structural characteristics	Псковское озеро Lake Pskovskoe		Чудское озеро Lake Chudskoe	
	Ст. 7 «загрязненная» Station 7 “polluted”	Ст. 8 «условно чистая» Station 8 “relatively clean”	Ст. 12 «загрязненная» Station 12 “polluted”	Ст. 13 «условно чистая» Station 13 “relatively clean”
Число таксонов Number of taxa	66	75	61	50
Индекс Съеренсена Sorensen index	0.38		0.52	
Индекс Шеннона, H_N Diversity index of Shannon	3.15	4.05	0.64	2.19
Численность, млн.сч.ед/м² Abundance, mln of units/m²	8316	2717	164586	15116
Биомасса, г/м² Biomass, g/m²	2.8	0.5	3.6	1.9
Доминанты по биомассе Dominant species by biomass	*Oedogonium* spp. *Stigeoclonium tenue*	*Oedogonium* spp. *Cocconeis placentula* Виды р. *Cosmarium*	*Stigeoclonium tenue, Heteroleiblenia kuetzingii, Gomphonema parvulum*	*Gomphonema parvulum, Gomphonema* sp.
Индекс сапробности Saprobity index	2.6	2.1	2.6	2.2

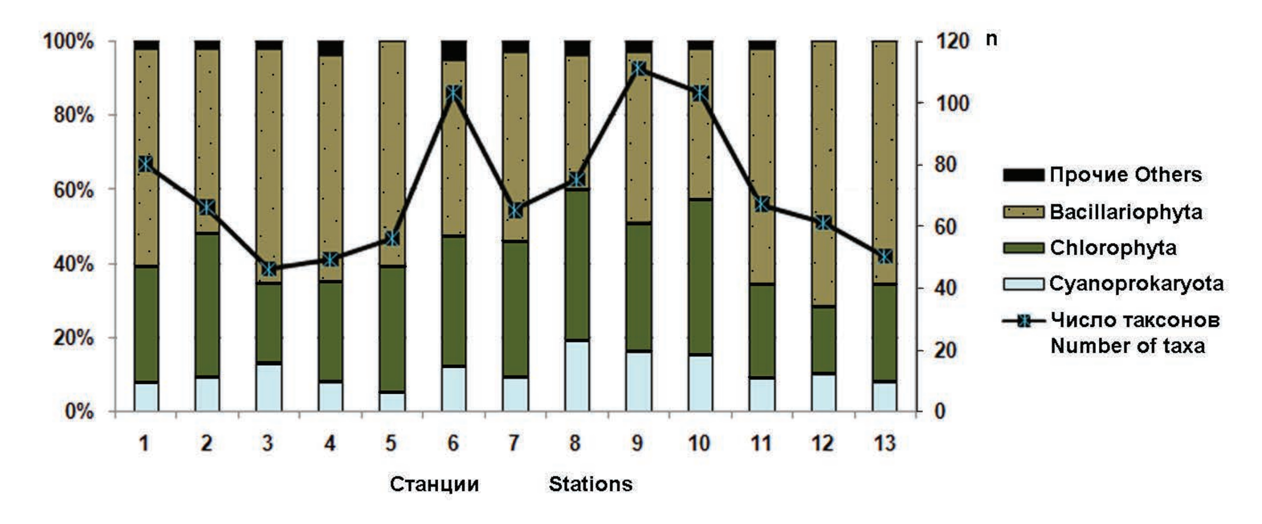


Рис. 2. Видовое богатство и вклад основных отделов в таксономическую структуру эпифитона Псковско-Чудского озера летом 2013 г.

Fig. 2. Species richness and contribution of major divisions into epiphyton taxonomical structure of Lake Pskovsko-Chudskoe in summer, 2013.

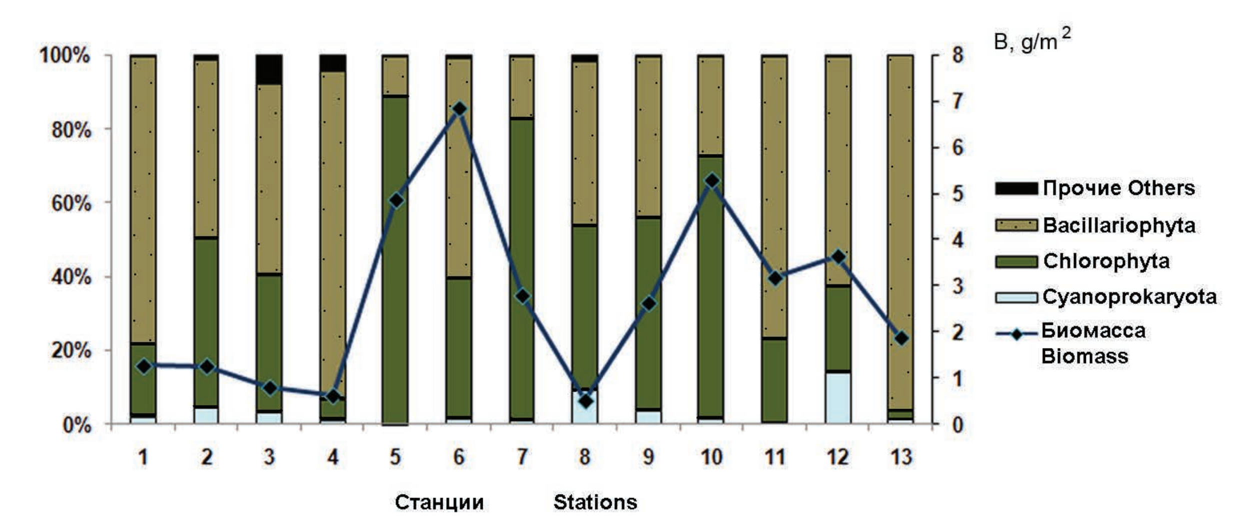


Рис. 3. Структура и уровень биомассы эпифитона Псковско-Чудского озера летом 2013 г.
Fig. 3. Structure and level of epiphyton biomass of Lake Pskovsko-Chudskoe in summer, 2013.

тов на разных станциях отмечены *Cocconeis placentula, Thalassiosira lacustris* (Grunow) Hasle, 1977, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, 1844, *Gomphonema parvulum* Kützing, 1849, *Gomphonema* sp. и виды рода *Epithemia*. В числе субдоминантов наиболее постоянна *Navicula tripunctata*. В южной и восточной частях Псковского озера, по биомассе доминировали зеленые водоросли (45–89%); как правило это – *Oedogonium* spp., *Mougeotia* sp., *Spirogyra* sp., *Stigeoclonium tenue* (C. Agardh) Kützing и виды рода *Cosmarium*. Известно (Величко [Velichko] 1982; Рычкова [Rychkova] 2007), что интенсивное развитие в эпифитоне зеленых нитчаток свидетельствует о высоком содержании биогенных элементов и может выявлять загрязнения органическими веществами. Доля других отделов водорослей везде была незначительной. Исключение составил вид цианопрокариот *Heteroleibleinia kuetzingii*, который присутствовал на всех станциях, но в доминирующий комплекс входил лишь на ст. 12.

Величины общей биомассы обрастаний колебались в широких пределах: от 0.5 до 6.8 г/м^2 субстрата (Рис. 3). Максимальные значения биомассы эпифитона отмечены при доминировании крупноклеточных нитчатых зеленых (ст. 5, ст. 10 и ст. 12) и диатомовых водорослей родов *Epithemia* и *Rhopalodia* (ст. 6 и ст. 11). Водоросли семейства Epithemiaceae способны к азотфиксации и отмечаются при недостатке азота (Беляева [Belyaeva] 2014). На большинстве станций более высокий уровень биомассы соответствовал и более высокому таксономическому разнообразию, и наоборот (Рис. 4). Коэффициент корреляции Спирмена показал невысокую тесноту связи таксономического богатства и биомассы эпифитона ($R=0.37$; $p<0.05$).

Анализ сапробиологической структуры эпифитона показал, что наиболее разнообразно в Псковско-Чудском озере представлены β-мезосапробы – индикаторы умеренного загрязнения воды (45% от числа таксонов известных своим отношением к органическому загрязнению). Индикаторы чистых вод (от ксено- до олигосапробов) составили 10%, промежуточной зоны (o-β, β-o) «чистые» – «умеренно загрязненные» – 16%, «повышенного загрязнения» (β-α, α-β, α) – 24%. На долю олиго-α-мезосапробов (видов широкой экологической валентности) пришлось 5%.

Значения индекса сапробности по станциям изменялись от 1.8 до 2.3, т.е. в пределах β-мезосапробной зоны, что соответствует III классу качества воды («умеренно загрязненная»). На двух станциях (7; 12), подверженных максимальному антропогенному воздействию его значение (2.6) соответствовало α-мезосапробной зоне самоочищения, IV классу качества воды («загрязненная»). Полученные величины индекса сапробности совпадают с величинами этого индекса,

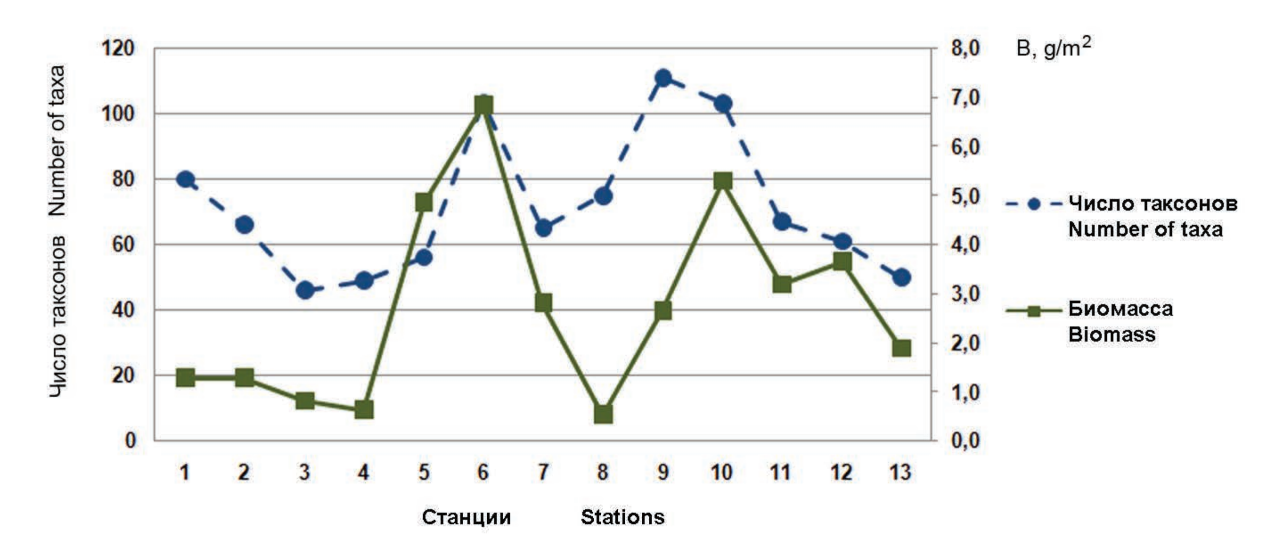


Рис. 4. Число таксонов и биомасса эпифитона на разных станциях Псковско-Чудского озера летом 2013 г.
Fig. 4. Number of taxa and epiphyton biomass at different stations on Lake Pskovsko-Chudskoe in summer, 2013.

рассчитанного по фитопланктону (Ястремский [Yastremsky] 1993).

Сравнительный анализ структуры сообществ эпифитона на загрязненных и «условно чистых» станциях (Табл. 1) показал, что таксономическое разнообразие при увеличении степени антропогенного влияния может как увеличиваться, так и снижаться. В Псковском озере видовое богатство на «загрязненной» станции ниже, чем на «условно чистой». Кроме того, индекс сходства их видовых составов был низким (0.38), что может свидетельствовать о его изменении в связи с наличием загрязнений. В Чудском озере на «загрязненной» станции число таксонов было больше, при этом индекс сходства также оставался достаточно низким (0.52). Снижение индекса Шеннона на «загрязненных» станциях подтверждает положение о том, что под воздействием активного загрязнения происходит упрощение структуры сообществ (Шарипова [Sharipova] 2007; Станиславская [Stanislavskaya] 2011).

В сравнении с «условно чистыми», численность и биомасса эпифитона на «загрязненных» станциях была значительно выше (Табл. 1), что отмечено и для других водоемов (Щербак и Семенюк [Shcherbak and Semenyuk] 2011). На этих станциях отмечено увеличение роли нитчатых зеленых и цианопрокариот (*Oedogonium* spp., *Stigeoclonium tenue, Heteroleiblenia kuetzingii*).

Среди доминирующих видов здесь отмечены виды-индикаторы повышенного загрязнения, что приводило к увеличению значений индекса сапробности, которые превышали значения, характерные для β-мезосапробной зоны (Табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что состав эпифитона достаточно разнообразен и представлен 279 таксонами рангом ниже рода. Ведущую роль в формировании видового богатства играли диатомовые и зеленые водоросли, а также – цианопрокариоты. Структуру биомассы определяли диатомовые и зеленые. Соотношение этих отделов в таксономической структуре и структуре биомассы варьировало от станции к станции. В целом сообщества эпифитона отличались по видовому богатству и разнообразию (индекс Шеннона), составу доминирующих комплексов, по соотношению групп водорослей, а также по количественным показателям. На более «загрязненных» станциях наблюдалось, как правило, снижение видового богатства, упрощение структуры и доминирование видов, стойких к загрязнениям. На «загрязненных» станциях индексы сапробности были максимальными и определяли наличие α-мезосапробных условий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю к.б.н. Е.В. Станиславской за большую помощь в работе. Автор благодарит к.б.н. Д.Н. Судницыну за помощь в определении водорослей и ценные консультации, к.б.н. М.М. Мельник – за помощь в организации отбора проб.

ЛИТЕРАТУРА

Barinova S.S., Medvedeva L.A. and Anisimova O.V. 2006. Diversity of algal indicators in the environmental assessment. Pilies Studio, Tel Aviv, 498 p. [In Russian].

Belyaeva P.G. 2014. Composition and structure of phytoperiphyton in the Sylva River (Perm Territory). *Botanichesky Zhurnal*, **99**(8): 903–916. [In Russian].

Collins G.B. and Weber C.I. 1978. Phytoperiphyton (algae) as indicators of water quality. *Transactions of the American Microscopical Society*, **64**: 305–324.

Davydova N.N. 1985. *Diatoms – indicators of environmental conditions in the Holocene*. Nauka, Leningrad, 244 p. [In Russian].

Gollerbah M.M. (Ed.). 1951–1986. Identification Reference Guide of the USSR freshwater algae. Vol. **1–14**. Moscow, Leningrad. [In Russian].

Hillebrand H., Dürselen C.-D., Kirschtel D., Pollingher U. and Zohary T. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology,* **35**: 403–424.

Kolchenko M.V. 2013. Diatoms of summer epiphyton of Chudsko-Pskovskoe Lake. Materials of 13th International Meeting: Diatoms: current state and future prospects (24–29 August 2013, Borok). Kostroma: 125–126. [In Russian].

Komarek J. and Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Chroococcales. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd 19/1. Ficher Verland, Jena, 548 p.

Komulaynen S.F. 2004. Ecology of attached algal communities in small rivers of East Fennoscandia. Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 182 p. [In Russian].

Komulaynen S.F. 2007. Use of phytoperiphyton in diagnostic of river systems condition. Materials of International Conference: Bioindication in the monitoring of freshwater ecosystems (23–27 October 2006, Saint Petersburg). Lema, Saint Petersburg: 124–128. [In Russian].

Kondratiev S.A. et al. 2010. Modeling of abiotic processes in a catchment-reservoir system on the example of Lake Pskovsko-Chudskoe. Nestor-Istoriya, Saint Petersburg, 103 p. [In Russian].

Krammer K. and Lange-Bertalot H. 1986–1991. Bacillariophyceae . Susswasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Bd 2/1, 876 p.; Bd 2/2, 596 p.; Bd 2/3,576 p.; Bd 2/4, 473 p.

Laugaste R. 1966. Data on algal flora and Lake Peipsi algae seasonal dynamics. In: Hydrobiology and Fisheries of Pskovsko-Chudskoe Lake. Valgus, Tallinn: 49–68. [In Russian].

Laugaste R. and Lessok K. 2004. Planktonic algae and epiphyton of the littoral in Lake Peipsi, Estonia. *Limnologica* **34**: 90–97.

Laugaste R. and Pork M. 1996. Diatoms of Lake Peipsi-Pikhva: a floristic and ecological review. *Hydrobiologia*, **338**: 63–96.

Leonova M.V. 2012. Taxonomic structure of epiphyton in Pskovsko-Chudskoe Lake (Russia). Materials of 4th International Conference: Actual problems of modern algology (May 23–25, 1012, Kiev). Kiev: 164–165. [In Russian].

Makarevich T.A., Ostapenja A.P., Derengovskaya R.A., Kovalevskaya R.Z., Lukyanova E.V and Nikitina L.V. 2013. Periphyton and its application in the background monitoring system. In: Ecological and biological studies of watercourses of Berezina Biosphere Reserve. Belorussian State University, Minsk: 128–158.

Meteliova N.Yu. 2008. Phytoperiphyton of Lake Nero. Materials of International Conference: Periphyton and fouling: theory and practice (October 22–25, 2008, Saint Petersburg). Saint Petersburg: 60–63. [In Russian].

Mikhailova K.B. and Sudnitsyna D.N. 2013. The role of the reed (*Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex Steud.*) in transboundary Pskovsko-Chudskoe Lake weediness. International Conference proceeding: Problems and prospects of the Europeanization of education in the border areas (October 25–27, 2012, Pskov). Pskov State University, Pskov: 95–98. [In Russian].

Rychkova M.A. 2007. Indicative possibilities of periphyton in Lake Ladoga littoral. Materials of International Conference: Bioindication in the monitoring of freshwater ecosystems (2007, Saint Petersburg). Lema, Saint Petersburg: 132–134. [In Russian].

Rychkova M.A. 2013. Structure and functioning of periphyton in littoral zone. In: V.A. Rumyantsev, S.A. Kondratiev (Eds). Lake Ladoga. Nestor-Istoriya, Saint Petersburg: 264–269. [In Russian].

Sharipova M.Y. 2007. Algological assessment of ecotone communities in the areas of industrial pollution. *Ecology*, **2**: 149–153. [In Russian].

Shcherbak V.I. and Semenyuk N.E. 2011. Phytomicroperiphyton application for assessing ecological condition of anthropogenically modified aquatic ecosystems. *Gidrobiologichesky Zhurnal*, **47**(2): 27–42. [In Russian].

Shitikov V.K., Rosenberg G.S. and Zinchenko T.D. 2005. Quantitative hydroecology: methods, criteria, decisions. Vol. 1. Nauka, Moscow, 281 p. [In Russian].

Sileenkova E.A. Species composition and ecological characteristic of algae in the Velikaya river (Pskov Region). *Botanichesky Zhurnal*. **98**(9): 1073–1084. [In Russian].

Slúdeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol., Beihefz., Ergebnisse Limnol.* **7**: 1–218.

Stanislavskaya E.V. 2008. Long-term changes in composition and structure of plant periphyton. In: Long-term changes in plant communities of mesotrophic lake in climatic fluctuations and eutrophication. Lema, Saint Petersburg: 65–82. [In Russian].

Stanislavskaya E.V. 2011. Structural and functional characteristics of periphyton in pollued rivers. Materials of International Conference: Bioindication in the monitoring of freshwater ecosystems II (2011, Saint Petersburg). Lubavich, Saint Petersburg: 130–137. [In Russian].

Stanislavskaya E.V. 2013. Composition and productivity of periphyton in polytypic lakes of Karelian Isthmus. Materials of XXIX International Conference: Biological resources of the White Sea and inland waters of the European North (March 27–29, 2013, Murmansk). Murmansk: 76–82. [In Russian].

Stenina A.S. 2009. Diatoms (Bacillariophyta) in lakes of Bolshezemelskaya tundra East area. Komi Research Centre of Ural Department of Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 176 p. [In Russian].

Sudnitsyna D.N. 2008. Summer phytoperiphyton composition and structure on Pskovsko-Chudskoe Lake macrophytes. Materials of International Conference: Periphyton and fouling: theory and practice (October 22–25, 2008, Saint Petersburg). Saint Petersburg: 138–140. [In Russian].

Timm T., Raukas A., Haberman Yu., and Yaani A. (Eds). 2012. Pskovsko-Chudskoe Lake. Eesti Loodustfoto, Tartu, 490 p. [In Russian].

Trifonova I.S. (Ed.) 2003. Phytoplankton of Lower Volga: reservoirs and the lower reaches of the river. Nauka, Saint Petersburg, 232 p. [In Russian].

Tsarenko P.M. 1990. Brief Identification Reference Guide of Ukrainian SSR Chlorococcales. Naukova dumka, Kiev, 208 p. [In Russian].

Velichko I.M. 1982. Ecological physiology of green filamentous algae. Naukova dumka, Kiev, 198 p. [In Russian].

Yastremsky V.V. 2011. Long-term changes in structure and productivity of phytoplankton in the pelagic zone of Chudsko-Pskovskoe Lake. In: Studies of major fishing water bodies ecosystems in the North-West Russia. Nestor-Istoriya, Saint Petersburg: 57–83. [In Russian].

Yastremsky V.V., Afanasiev E.A., Antipova L.F., Smirnova E.N. and Tarasova S.G. 1993. Pskovsko-Chudskoe Lake condition under influence of progressive human impact. In: Regional studies and nature protection. Pskov State Pedagogical University, Pskov: 26–31. [In Russian].

Представлена 15 января 2016; принята 29 июня 2016.